

B-17 電気自動車の普及促進による二酸化炭素排出抑制交通システムへの転換に関する研究
(4) 適正な電力供給及び車両運用のためのシステム整備

研究代表者 機械技術研究所 龍江 義孝

通商産業省 工業技術院機械技術研究所

基礎機械部

龍江 義孝

基礎機械部

移動機械課

清水 健一, 白井 信正, 岩月 徹

平成3-5年度合計予算額 33,873千円
(平成5年度予算額 11,475千円)

[要旨]

我国の二酸化炭素の総排出量の20%弱を占める自動車からの排出を抑制するために、低公害車である電気自動車の普及が急務となっているが、その利用技術が未確立であるため普及が阻害されている。本研究では、電気自動車を利用する上でその運用経費を大きく左右する充放電時の管理方法について検討し、あわせて、普及を円滑にするうえで不可欠な保守・整備の合理化をはかる方法について検討した。

稼働中の電池の端子電圧と電流値を常時観察して、電池特性を代表する主要なパラメータである起電力と内部抵抗によって電池の残存容量を推測する残存容量計を試作した。単一電池の充放電試験の結果、残存容量そのものの表示ではないが電池の活性度をよく表現しており、充電時の情報を加味して運用すれば実用可能であることがわかった。

また、種々の電圧と容量の電池に対応するため、ユニット化した充電ユニットを充電条件に応じて柔軟に組合せる充電システムを試作し、基本的な特性を把握した。試用中の電気自動車の充放電効率を調査したところ充電量が少ないほど効率が悪化する傾向が判明し、充電末期の微小電流での充電時の効率が悪いことが原因と判った。充電電力に応じて、最適容量の充電ユニットを使用することで効率の向上をはかった。

試用中の電気自動車のデーターの検討から、充放電サイクル数に比して電池の容量低下が早い傾向があり、この原因が、組電池内の一部の電池の容量が極端に低下していることにあることを確認した。電池内のこのアンバランスは、本来の電池特性のアンバランスや電池の温度差によって生じ、一度生じると偏差拡大的に大きくなる。このため、組電池内の個々の電池の特性を把握して、このアンバランスをあるレベル以下に抑えることが不可欠である。

[キーワード] 電気自動車, 電池, 充電, 保守, 残存容量

1. 序

我が国の運輸部門で排出される二酸化炭素排出量の約80%は自動車から排出されており、これを低減する一つの有力な手段として電気自動車等の低公害車の普及促進が各方面で試みられて

いる。特に電気自動車は発電所から車両の走行までを通して考えても、エネルギー効率やクリーン度の点で好ましいため、現時点の技術レベルですぐ実用が可能な車両として普及の促進が強く望まれている。しかし、通産省の施策として行っている電気自動車の試用制度による普及促進策にもかかわらず、あまり普及していないのが現状である。

普及がはかばかしくない原因には電気自動車のコストが高いことや、性能が充分でないこと等、電気自動車そのものに起因する部分もあるが、充電設備等のインフラストラクチャーの未整備や、電池の利用技術が未整備なことによる使い難さや、効率の悪さに起因する部分が無視できない。

2. 研究目的

電気自動車を利用する上で、使い勝手や、エネルギー効率を大きく左右する要素として、電池の充電方法をはじめとする電池の管理の問題が挙げられる。ここでは、現状のレベルの電気自動車を利用する際に問題となっている事項を調査した結果から、これらの電池の運用上の問題点を明らかにし、これを解決して電気自動車の普及を促進するための手法を明らかにした。

すなわち、充電時の技術的課題を調査し、電気自動車用の電力供給を合理的に行うために必要な要素として、充放電レベルを把握するための電池残存容量計と、任意の車両に容易に最適な充電を可能にする汎用充電システムを構築した。あわせて、これらを用いた際の残された問題点についても検討した。

3. 電気自動車用電池の利用上の問題点

3. 1. 電気自動車のライフサイクルコストの現状

消費エネルギーの大小について検討する場合、地球環境問題を論ずる観点から、ものの生産と運用に要するエネルギーのみでなく、生産したものを元の自然な状態に戻すのに要するエネルギーまでを勘案したライフサイクルエネルギーの考え方が定着しつつある。しかし、内燃機関自動車とEVのライフサイクルエネルギーに関しては、十分な検討例がない。

図1は、内燃機関とEVを利用する際の必要経費の比較である。対象が生産と運用に関するもののみで、スケールもエネルギーではなく金額であるので、前述の指標とは異なる。EVの車両価格は非常に高いが、この原因が生産に大量のエネルギーを必要とする訳ではないので、単純な比較は出来ない。同様に、燃料に相当するEVの電気代がガソリン代の3分の1程度であるのも、税率の差等を勘案しなければならない。ここで注目しなければならない経費は電池の費用で、2年毎の交換が大きな経費増となっている。したがって、電池の寿命をできるだけ永くする努力が電気自動車のライフサイクルコストを低減する上で不可欠であることがわかる。

3. 2. 残存容量計の必要性

現状のEVは、電池の占める割合が質量、体積とも、ガソリン車のタンクより桁違いに大きい。この原因は電池の単位質量または単位体積当たりの蓄え得るエネルギー量、すなわちエネルギー密度が、ガソリンに比べて桁違いに小さいことによる。EV用として実用または検討中の電池のエネルギー密度を表1に示す¹⁾。ガソリンの発熱量は8,320kcal/lで、エネルギー密度に換算すると約13,800Wh/kgとなるので、電池はどの電池もガソリンに比べて比較にならないほど小さい。このことから一充電走行距離を長くすることがいかに困難であるかがわかる。

このため、現状のEVは完全充電状態でもガソリン車の燃料切れ警告灯が点灯する直前又は点灯した状態に近い。したがって、電気自動車の運用に当たっては、電池の能力の限界またはそれ以上の容量の電力を充電しようとする傾向があり、これが過充電による電池寿命の短縮化の元凶ともなっている。この様な背景から、電池の残存容量を把握する残存容量計は重要な意味を持っている。

3. 3. 充電器、充電方法の現状

従来は、電気自動車用の充電器は、電池メーカーがその電気自動車に搭載された組電池に適したものを専用充電器として用意してきた。そのため、各車両の専用の大きな充電器が必要となり、充電器のコストを上昇させるだけでなくスペース効率の面でも問題となってきた。

もう一つの問題は、出先で電池の残存容量が低下してしまった場合、充電不能であったり、充電できたとしても実用にならないほどの充電時間を要することである。

本研究を実施してきた3年間は、インフラ整備に関する関心が高くなったことを反映してこれらの問題点を解決するための技術的な動きが盛んであった。

一つは充電器の小型化とインテリジェント化を目的として、スイッチングレギュレーター方式の充電器が実用化されたことである。もう一つは、通産省のエコ・ステーション2000計画に代表される充電スタンド用の急速充電システムである。このシステムは不特定多数の車両に充電する必要があるため、システムを構築するための規格化の作業まで実施された。

その内容は、ガソリンスタンドに併設する急速充電システムのために必要な、“電気自動車用エコ・ステーション急速充電システムの”，①充電器，②鉛電池（ロードレベリング用；昼間の急速充電用の電力を、安価な夜間電力で充電して保管するための据置用の電池），③充電スタンド，④通信プロトコル，⑤コネクタ，の5規格で構成される。

コネクタは、電力用の2ピンのほかに制御用の8端子を持っており、電流容量150Aの電力用端子は独立防水構造で、制御用の8端子も4端子ずつグループで防水構造となっている。制御用信号のピンの割付も規定されており、充電器と車両間の通信手順についても通信プロトコルの規格で規定されている。充電方法は、基本的には車両が充電状態を管理する形式で、充電器は自己の状態管理以外はスレーブ状態で動作する。これによって種々の仕様の電池に柔軟に対応できる汎用性と、車両側のきめ細かな充電制御を可能にしている。

4. 残存容量計の試作

残存容量計は、20年程まえのEVの大型プロジェクトの頃からの課題であるが、いまだに決定打のないのが現状である。残存容量計としては、電池の端子電圧をモニタするだけの簡単なものから、最近発表されているマイクロプロセッサベースのものまでさまざまであるが、原理的には次の様に分類できる。

- 1)電池の端子電圧を表示するもの： 走行時は当然、電圧がドロップするが、馴れてくるとその様子から電池の特性が判断できるとの意見も多い。
- 2)放電電流の時間積分値を充電電流量から試算する：電流率によって、電池からとり出し得る電力量が異なるので、電流の大きさによる補正が必要となる。
- 3)電池の開放電圧のみで電池の状態を表示する方法：走行状態でない時の電池の端子電圧のみを

チェックして残存容量を把握する。精度を確保するため、無負荷になってから5秒目のいわゆる”5秒目電圧”を保持するのが一般的で、再現性は比較的よい。

4)電池の放電電流－電圧降下特性のテーブルから推測する方法：あらかじめ用意した、種々の充電レベルでの電池の放電電流－電圧降下特性テーブルを利用して、走行中の電池の端子電圧と電流の実測値から残存容量を推測する。

5)電池モデルによる推測：電池の電圧と内部抵抗を電池の容量、温度、寿命の関数として表現したモデル、すなわち

$$V(t, \theta) = g(i(t), \theta)$$

ここで、 $V(t, \theta)$ ：端子電圧推定値

$i(t)$ ：放電電流実測値

θ ：電池の残存容量

$g(i, \theta)$ ：電池モデル

を用意し、使用中の電池の電圧と電流を実測し、実測の電流値に対するモデルの電圧が実測値に等しくなる様な容量を求める。

電池モデルによる推測方法は、デジタルシグナルプロセッサ等の高度な演算装置を必要とするが、本質的には、降下特性のテーブルをベースにするもので、原理的には4)と同じとみてよく、統計的な手法により精度の向上をねらったものである。

本研究では簡単な構成で十分な精度を確保することを目的に、4)の方法をモディファイした形式のものを試作した。ブロック図を図2に示す。稼働中の組電池の端子電圧 V_B と電流 I_B 、電池温度 θ_B をAD変換器によってCPUに取り込み、一定時間内の V_B と I_B のデータから電池の起電力と内部抵抗を求め、この値を、電池の放電電流－電圧降下特性データと比較することによって、容量を推測するものである。標準となる電池の放電電流－電圧降下特性データは種々の電池温度でのデータをあらかじめ用意すべきであるが、20℃と35℃での値のみを用意し、他の温度はこの2点から直線補間する方法をとった。

単一の電池での試験の範囲では、残存容量計の出力は電池の活性度をよく表しているが、必ずしも容量に比例していないことが判明した。すなわち、新しい電池と寿命末期の電池を同じ放電率で放電した場合、両者とも初期の表示はほぼ同一で、寿命末期の電池のほうが大きなレートで出力が低下する（正確に残存容量を表示しているのなら、寿命末期の電池は初期の表示値そのものが小さくなっているべきである）。したがって、残存容量の絶対値は、充電時の充電電力量と充電前後の出力の変化幅の関係から推測する必要がある。（但し、電池の充電効率に相当する誤差が含まれた状態）

5. 汎用充電システムの試作

複数の車両を利用する事業所を考えた場合、前述したように、専用充電器の利用は、充電器を置くスペースの面でも問題となる上、受電容量を車両の台数に応じて大きくしなければならないと云う問題がある。形式が異なった複数の車両を用いる場合は、さらに充電電圧の異なったものを用意しなければならない。

ここでは、種々の電池電圧に対応でき、受電容量を大幅に大きくすることなしに使用できる汎用充電システムを構築した。また、ラフな充電操作に対しても効率よく充電できる様、配慮した。

現状の電気自動車のシステム電圧が、数十ボルトから300ボルト台までと広いため、80ボルトから170ボルトまで出力電圧が可変できる4台のスイッチングレギュレーターを用い、電池電圧に応じてこれらのユニットを直並列に接続することによって、低電圧の大電流充電から高電圧の小電流充電まで対応可能とした。構成の概要を図3に示す。

これらの制御はパソコンで可能である。充電端子としては3組あり、複数の組電池を同時に接続可能である。充電開始時間をパソコンで管理することによって、2組目の充電開始を1組目の充電電流が低下するまでずらせることが可能で、これによって小さな受電容量での複数台充電を可能にした。

また、大電流による充電は、充電初期のみで、その後は、小電力充電になるため、充電器自体の電力消費量が充電効率を左右することが判明した。このため、充電電量が主電器の能力の1/3に低下した時点で小容量のサブ充電器に切り換え、主充電器の電源を断つ方法を採用した。これによって、充電中期以降の充電器の効率の低下を小さく抑えることが可能となった。充電シーケンスの例を図4に示す。

6. 電池の管理の問題点について

一方、充電方法の良否は、充電効率を左右するだけでなく、過充電によるバッテリーの劣化等の危険性を含んでいるので、電気自動車を運用する上で、電池の残存容量の把握とならんで大きな課題である。

試用中のEVの電池の寿命は、電池の公称寿命より短い例が多く、公称寿命の半分以下の例も少なくない。単電池の寿命に比べて複数の電池を直列に接続した組電池の寿命が短くなる原因としては、一部の電池の能力が低下することが考えられる。実際の組電池では、設置された場所によって同一組電池内でも電池の温度に差があることがよくある。温度差が組電池に及ぼす影響を調べるため、直列に接続した同一特性の電池を各々、30℃と40℃の恒温水槽に入れて充放電を繰り返した。試験のブロック図を図5に示す。使用した電池は、密閉型の鉛電池であるがEV用ではなく、一般の民生機器に用いる小容量のものである。

試験時の両電池の容量変化の概要を図6に示す。試験の結果、初期には40℃の電池の方が容量が大きかったものが、約30サイクルの充放電後にほぼ同一容量になり、その後は40℃の電池の容量が急速に低下し、125サイクルで30℃の電池の約60%、初期の約35%にまで低下した。

この試験で選んだ温度は、電池にとって最適である35℃の上下5℃であり、高温側が特に極端な温度であるわけではない。この結果から、組電池全体が電池の動作許容温度内に入っているとしても、個々の電池に温度差があり、それが恒常的である場合は、組電池内の個々の電池に実質的な容量差が生じることが判る。組み電池として組み電池の端子電圧のみで充電終止電圧や放電終止電圧の管理をしている場合、容量の小さい電池は充電時に過充電になり、放電時に過放電になる傾向があることになり、容量のアンバランスが生じた場合は偏差拡大的に容量のアンバランスが大きくなる。

7. ま と め

EVの実用化に関して電池が問題である事実は万人が認めるところである。この解釈策としては、実用的な高性能電池の開発が最も好ましいのは当然であるが、地球環境対策の一つの選択と

してEVの実用化が期待されている状況を考えると、現時点では実績のある鉛電池を有効に使用する技術を確認するのが最善の策であると考えられる。

そのために必要になる電池の残存量と汎用充電器を試作し、その効果を確認した。残存容量計に関しては、完璧なものではないものの利用時の工夫で充分実用になることを確認した。

また、充電時に生じる種々の不都合を解決する目的で、ユニット化した充電ユニットを充電条件によって柔軟に組み合わせる汎用充電器を試作し、これに充電末期の効率の低下を防止する工夫と受電容量内で効率的に複数の車両に充電する工夫を付加して実用性を確認した。

また、本研究を遂行する過程で、組み電池に生じる電池のアンバランス現象を明らかにした。

8. 本研究により得られた成果

誌上発表

- 1) Barriers to Apply Electric Vehicles as Traffic Systems, Proc. of IEA End User Workshop (1993.10)

口頭発表

- 1) 第11回国際電気自動車シンポジウムとIEA/TC69 会議について、電気自動車フォーラム（日本電動車両協会）1992.10.27
- 2) 電気自動車の利用可能性、日本機械学会、70期通常総会、F9-(3) 1993.4.1
- 3) 電気自動車実用化のハードルとその一解決策、機械技術研究所所内研究発表会(1993,

引用文献

- 1) 矢田恒二：電気自動車、国際交通安全学会誌vol.16,No.3, P17-23,(1990)

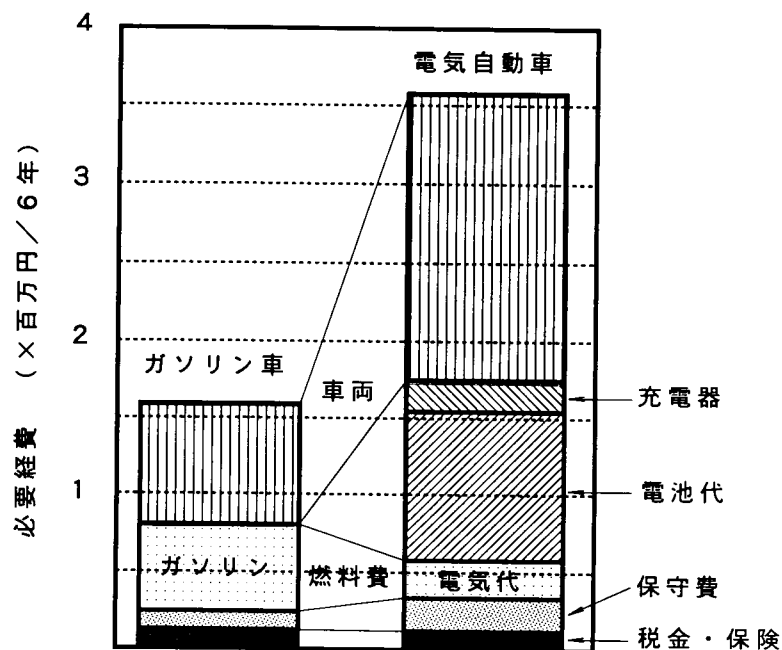


図1 電気自動車とガソリン自動車のライフサイクルコスト

表1 電池のエネルギー密度

Types	Operating Temp. (°C)	Voltage (V)	Energy Density(Wh/kg)	
			theoretical	achieved
Pb-acid	normal temp.	2.10	175	○ 40-45
Ni-Cd	normal temp.	1.29	209	○ 30-53
Ag-Zn	normal temp.	1.86	273	○ 100
Zn-Br	normal temp.	1.80	428	△ 65-75
Na-S	300-350	2.08	785	△ 100-150
Li-S	420-460	2.25	2624	□
Li-Cl	450	3.16	2200	□
Al-Air	normal temp.	1.85	1900	□ 110-360

○ : be used △ : be developed □ : be studied

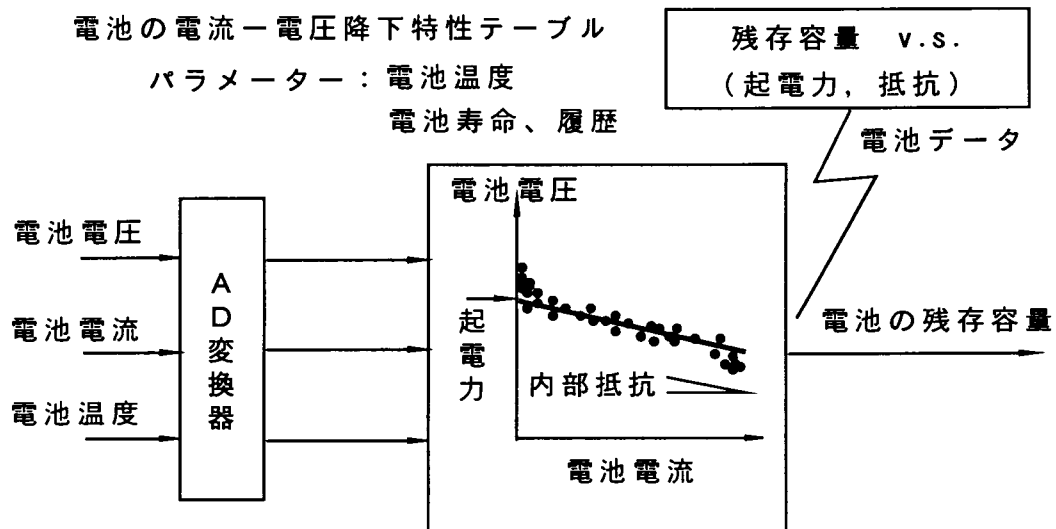


図2 残存容量計のブロック図

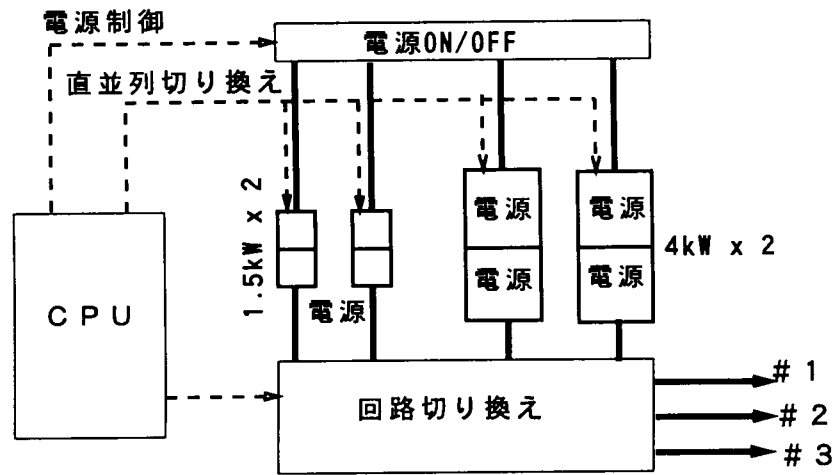


図3 汎用充電器のブロック図

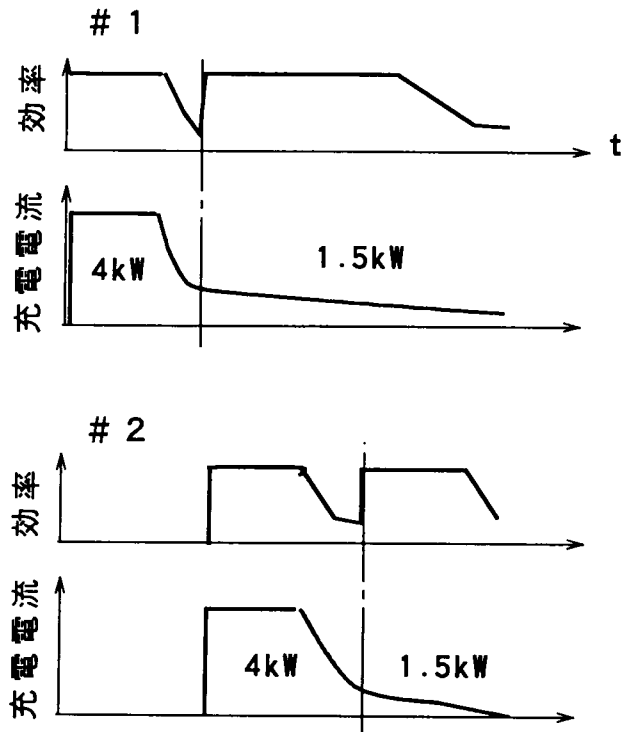


図4 汎用充電器の充電シーケンス

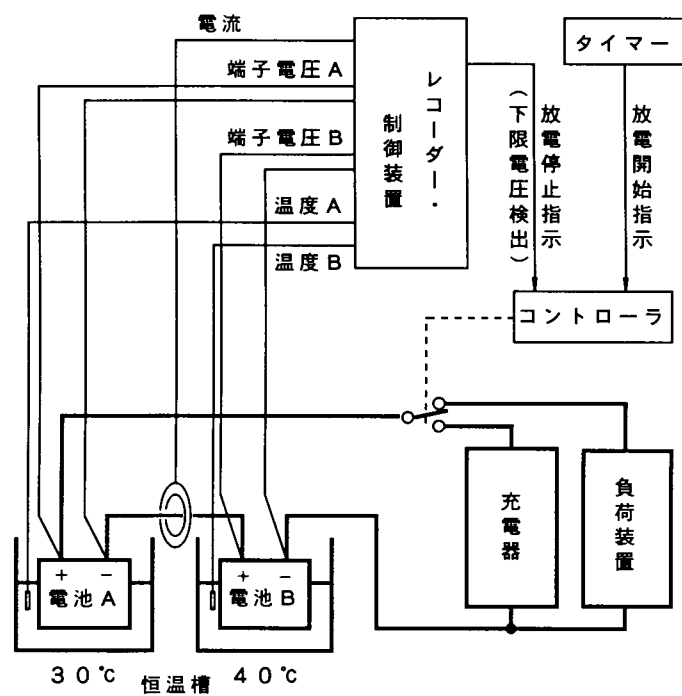


図5 温度差がある状態での充放電試験のブロック図

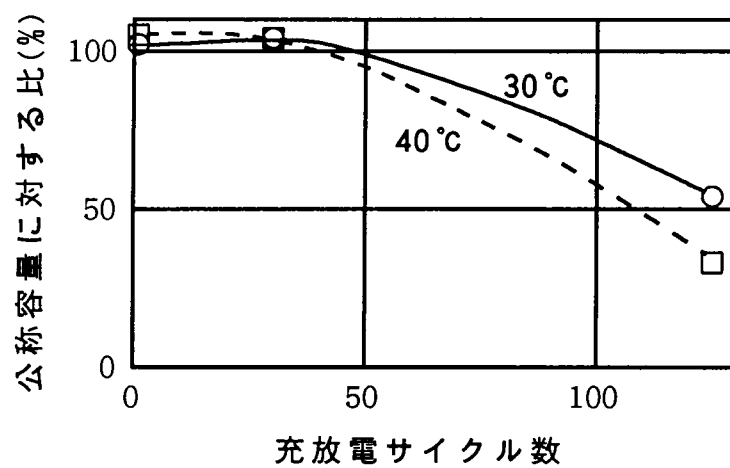


図6 温度差による電池の容量変化例